

ЛАБОРАТОРНЫЙ СИНТЕЗ СПЛАВОВ AL-SC

В РАСПЛАВАХ NaF-AlF₃-Al₂O₃-Sc₂O₃

Суздальцев А.В.¹, Зайков Ю.П.^{1,2}, Ткачева О.Ю.¹, Молчанова Н.Г.¹

¹ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН,
г. Екатеринбург;

²ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет
им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

suzdaltsev_av@mail.ru

В лабораторных условиях электролизом и алюмотермией в расплавах NaF-AlF₃-Al₂O₃-(1-8 мас.%)Sc₂O₃ при 980 °С получены алюмо-скандиевые сплавы с равномерным распределением от 0.15 до 1.30 мас.% скандия. Показано, что наибольшее влияние на содержание скандия в сплавах оказывает содержание Sc₂O₃ в расплаве. Сделано предположение о преобладании химического механизма восстановления Sc₂O₃.

Введение. Большая часть производимого в мире алюминия используется в электротехнике и автомобилестроении, однако в последнее время появился спрос на сплавы на основе алюминия с добавками Si, B, Ti, Sc, Zr и другими элементами. Появившийся в последнее время спрос на сплавы алюминия вызван быстрыми темпами развития передовых технологий, роботостроения, автомобилестроения и аэрокосмической отрасли, а также новыми требованиями к свойствам сплавов. Интерес этот обусловлен тем, что уже незначительная добавка большинства из перечисленных элементов в алюминий модифицирует его структуру и технологические свойства. Например, 0.2 мас.% скандия в алюминии улучшает его прочность, коррозионную стойкость, свариваемость и устойчивость к рекристаллизации [1]. Стоимость производимого алюмо-скандиевого (Al-Sc) сплава является очень высокой для потребителя, при этом распределение скандия в алюминии неравномерное.

В настоящее время во всем мире активно ведутся исследования, направленные на разработку альтернативного способа получения сплавов Al-Sc при электролизе традиционного криолит-глиноземного расплава [2, 3] или расплава на основе системы KF-AlF₃ с добавками Sc₂O₃ [4].

В данной работе исследовано влияние экспериментальных условий (содержание Sc₂O₃, катодная плотность тока, длительность синтеза, перемешивание алюминия) на содержание и распределение скандия в алюминии.

Электролизные испытания. Сплавы Al-Sc получали двумя способами (электролиз и алюмотермия) в идентичных корундовых ячейках при 980 °С. При электролизе использовали графитовые анод и токоподвод к катоду (жидкий алюминий на дне корундового тигля). Катодную плотность тока варьировали в диапазоне от 0.2 до 1 А/см². При получении сплавов Al-Sc

использовали расплавленные смеси $[\text{NaF-AlF}_3(30 \text{ мол.}\%)]\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Sc}_2\text{O}_3$ с добавкой от 1 до 8 мас.% Sc_2O_3 . Предварительно их очищали от примесей потенциостатическим предэлектролизом (1.08 В, 2 часов) с графитовыми электродами. После предэлектролиза в тигель с расплавом погружали алюминий. В некоторых экспериментах алюминий механически перемешивали при помощи графитовой пластины, экранированной корундом. Расплавы и получаемые сплавы Al-Sc анализировали на содержание и распределение скандия микрорентгено-структурным (SEM, EDX) и химическим (ICP) методами анализа.

Результаты и обсуждение. Параметры и результаты экспериментов представлены в таблице. Содержание скандия в полученных лигатурах составило от 0.15 до 1.30 мас.%, при этом его распределение в матрице алюминия, согласно SEM-анализу одинаково равномерное при всех указанных условиях. Из результатов, можно увидеть, что наибольшее влияние на содержание скандия в получаемой лигатуре оказывает количество загружаемого в расплав Sc_2O_3 , в то время как повышение катодной плотности тока и механическое перемешивание практически не влияют. Повышение концентрации Sc_2O_3 в расплаве приводит также к образованию большего количества интерметаллидных соединений. На рисунке 2 представлена микрофотография шлифа и карта распределения скандия в алюминии, полученная при помощи EDX-анализа в эксперименте без тока и перемешивания алюминия (опыт 11 в таблице) с 8 мас.% Sc_2O_3 в расплаве. Элементный анализ областей разного цвета на микрофотографии указывает на наличие интерметаллидных соединений с повышенным содержанием скандия (серые области). Это может приводить к завышению содержания скандия в алюминии по данным ICP-анализа.

Выводы. В лабораторных условиях в криолит-глиноземном расплаве с добавкой 1-8 мас.% Sc_2O_3 при 980 °С получены Al-Sc сплавы с равномерным распределением от 0.15 до 1.30 мас.% скандия. Поскольку повышение концентрации Sc_2O_3 в расплаве оказывает наибольшее влияние на содержание скандия в сплавах, можно сделать предположение о преобладании химического механизма восстановления Sc_2O_3 над электрохимическим. Полученные данные могут быть использованы при подборе оптимальных параметров электролитического получения Al-Sc сплавов в промышленном электролизере.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, ГК № 14.607.21.0042.

Таблица. Параметры и результаты экспериментов по получению Al-Sc.

№ опыта	Sc ₂ O ₃ в расплаве, мас. %	Перемешивание, об/мин	t, мин	i, A/cm ²	Sc в Al, мас. %	
					ICP	EDX*
1	2	100	120	0.25	0.23	0.21/0.28
2		100	60	0.50	0.25	0.27/0.32
3		100	120	0.50	0.27	0.25/0.35
4		0	30	0	0.21	0.23/0.24
5		0	60	0	0.24	-
6		0	120	0	0.24	-
7		0	180	0	0.23	0.26/0.26
8	8	0	30	0	0.65	-
9		0	60	0	0.72	0.80/1.15
10		0	90	0	0.90	-
11		0	120	0	1.02	0.86/1.44
12		100	120	0.50	1.25	-
13		100	120	1.00	1.30	-

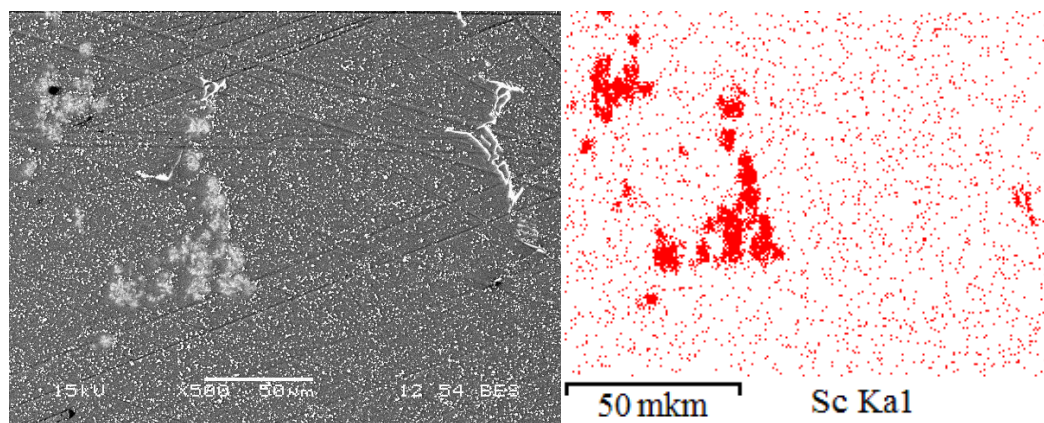


Рисунок 1 Микрофотография поперечного среза сплава Al-Sc и карта распределения скандия в нем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. J. Royset, N. Ryum, Scandium in aluminium alloys, Int. Materials Reviews 50 (2005) 19-44.
2. В.И. Москвитин, С.В. Махов, О возможности получения алюминиево-скандиевой лигатуры в алюминиевом электролизере, Цветные металлы, 1998, №7, 43-46.
3. Y. Qian, J. Xue, Q. Liu, J. Zhu, Preparing Al-Sc-Zr alloys in aluminum electrolysis process, Light Metals (2013) 1311-1314.
4. Q. Liu, J. Xue, J. Zhu, Ch. Guan, Preparing aluminium-scandium inter-alloys during reduction process in KF-AlF₃-Sc₂O₃ melts, Light metals (2012) 685-689.